

Estudios realizados en el Centro de Agroingeniería del IVIA para optimizar la aplicación de productos fitosanitarios

La reducción de la deriva de los tratamientos fitosanitarios en citricultura

Durante la aplicación de tratamientos fitosanitarios en cítricos, sólo una fracción del caldo pulverizado alcanza el objetivo. Con la tecnología actual es prácticamente imposible la eliminación completa de la deriva y de los riesgos que implica, pero se está investigando en métodos que permitan reducirla. El objetivo de la investigación actual no es sólo minimizar los riesgos asociados a la utilización de los productos fitosanitarios, sino también asegurar al mismo tiempo la eficacia de los tratamientos sobre las plagas.

**Enrique Moltó García,
Cruz Garcerá Figueroa y
Patricia Chueca Adell.**

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).
Moncada (Valencia).

2009) establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los productos para el control de plagas y enfermedades. Además, señala una serie de herramientas y acciones para la reducción de los riesgos derivados de la utilización de estos productos.

Una forma de reducir estos riesgos es racionalizar la aplicación de los pesticidas, adecuando la cantidad de producto empleada a las necesidades reales y las condiciones particulares de la aplicación a realizar (plaga que se trata de controlar, maquinaria y productos empleados y vegetación sobre la que se aplica). Para poder ajustar racionalmente la cantidad de producto que debe aplicarse en un tratamiento, es necesario estudiar las relaciones existentes entre la cantidad de materia activa depositada, la forma en que se deposita y cómo ésta afecta al control de la plaga, evaluando las posibles diferencias de sensibilidad entre los estadios de desarrollo de la misma (Garcerá, 2013).

Aunque el objetivo de cualquier tratamiento fitosanitario es colocar la cantidad adecuada de una sustancia activa en el lugar adecuado de la planta, de la manera más segura y económica posible, todavía una parte de ellos se pier-

de en el medio ambiente, como resultado de la escorrentía, el lavado de los productos, la evaporación o la deriva.

La deriva es una de las mayores fuentes de contaminación que producen los tratamientos fitosanitarios. Se define, según la norma ISO 22866:2005 (ISO, 2005), como la fracción de producto fitosanitario que es arrastrada fuera de la zona de tratamiento por efecto de las corrientes de aire durante el proceso de aplicación. El impacto de la deriva es especialmente importante cuando se realizan aplicaciones con altos volúmenes de caldo, como en la citricultura actual, en la que se utilizan mayoritariamente los equipos de pulverización hidráulica asistidos por aire (denominados también turboatomizadores o turbos), con el fin de conseguir una mayor penetración de los productos en la vegetación y una deposición uniforme de los mismos en las copas de los árboles. Sin embargo, la cantidad de producto que no llega al mismo puede llegar a ser muy elevada. En estudios realizados por el Centro de Agroingeniería del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias se ha observado que, pese a que se sigan los protocolos de buenas prácticas agrícolas y se emplee un equipo adecuado, sólo la mitad del caldo pulverizado se deposita en los árboles-obje-

A pesar de los grandes avances en el control biológico de las plagas y enfermedades, en la citricultura actual todavía es necesario el uso de fitosanitarios. Sin embargo, existe una elevada presión para minimizar el impacto de los pesticidas sobre el medio ambiente y las personas. En este sentido, la Directiva 2009/128/CE (UE,

En estudios realizados por el Centro de Agroingeniería del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

se ha observado que, pese a que se sigan los protocolos de buenas prácticas agrícolas y se emplee un equipo adecuado, sólo la mitad del caldo pulverizado se deposita en los árboles-objeto

tivo. Estos resultados deben hacer reflexionar sobre la necesidad de mejorar la forma en que se realizan los tratamientos fitosanitarios en cítricos y resaltan el interés de introducir mejoras técnicas en la maquinaria y en los procedimientos de aplicación que permitan reducir la deriva.

Reducción de los riesgos producidos por la deriva

La eliminación completa de la deriva y de los riesgos que implica es prácticamente imposible con la tecnología actual. Por ello, se está investigando en métodos que permitan reducir-la, tales como:

- Métodos relacionados con la parcela: como setos cortaviento, que además se pueden aprovechar como refugio para la fauna beneficiosa.

- Métodos relacionados con la maquinaria que consisten en:

- Utilización de boquillas de baja deriva.
- Control del caudal del aire del ventilador.
- Control de la dirección del aire del ventilador.
- Control de la apertura y cierre de boquillas.
- Modificación automática de las boquillas en las zonas de especial sensibilidad o ante cambios de viento.
- Recogida del caldo en túneles especiales y reutilización.

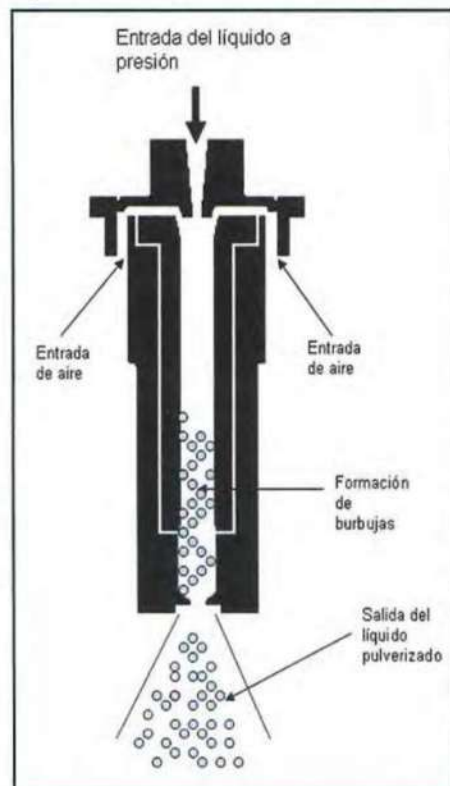
Todas estas posibles soluciones se están desarrollando en diversos países y cultivos y no todas están en el mismo grado de desarrollo ni pueden adaptarse todavía a la citricultura.

De todos los métodos expuestos, el más barato y rápido de implementar consiste en la utilización de boquillas de baja deriva, ya que los demás métodos requieren la inversión en nuevos dispositivos electrónicos o en nueva maquinaria y la situación económica de los productores no permite grandes gastos.

Se sabe que empleando buenas prácticas agrícolas (velocidad del viento inferior a 5 m/s, temperatura inferior a 25°C, humedad relativa superior al 50%, velocidad del tractor inferior a 4 km/h, caudal de aire adecuado), los factores que más afectan a la deriva son la dirección del flujo del aire y el tamaño de las gotas producidas, siendo las más pequeñas las que mayor tendencia tienen a alejarse de su objetivo. Por este motivo, las boquillas antideriva producen gotas más gruesas respecto a las boquillas convencionales de turbulencia, que producen conos de gotas finas con el fin de favorecer

FIGURA 1

Esquema de una boquilla antideriva por inyección de aire.



la uniformidad en la deposición del producto sobre las hojas. En este sentido, debemos destacar que la utilización de presiones de trabajo bajas también puede reducir la deriva de las

boquillas convencionales, ya que de este modo se aumenta el tamaño medio de las gotas producidas.

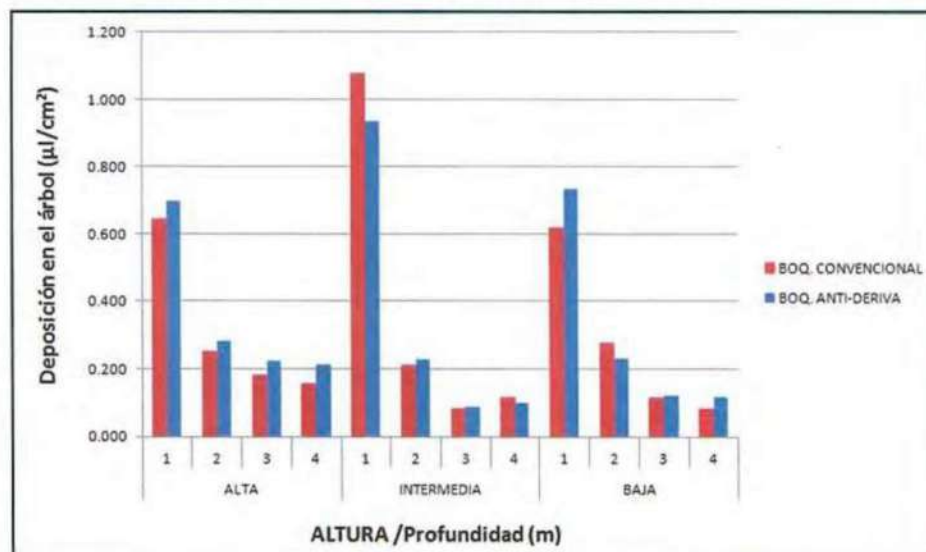
Las boquillas de baja deriva que actualmente se están empleando más en citricultura son las llamadas de inyección de aire, que disponen de una cámara que está conectada con el aire del exterior (figura 1). El líquido a presión que proviene de la bomba, entra en esta cámara a gran velocidad y produce una aspiración del aire por efecto Venturi. Al mismo tiempo, en la cámara se produce una caída de la presión del líquido. El aire introducido sirve para producir una especie de burbujas que son las gotas que salen de la boquilla.

Experimentos realizados por el Centro de Agroingeniería del IVIA en tratamientos de cítricos (Chueca *et al.*, 2011; Garcera *et al.*, 2012) demuestran que las boquillas de inyección de aire reducen la deriva.

Ahora bien, no solamente se trata de reducir la deriva, es necesario conocer si los depósitos producidos sobre la vegetación son equivalentes para suponer que el ahorro de producto derivado no merma la eficacia del tratamiento. La figura 2 representa la deposición de caldo obtenida en dichos experimentos a distintas alturas (zonas: alta, intermedia y baja) y profundidades (1, 2, 3 y 4 m) de los árboles. Se observa que en la mayoría de las zonas con la boquilla de inducción de aire se consiguieron depósitos más altos. Con la boquilla convencional se obtuvo mayor deposición en la

FIGURA 2

Diferencias de deposición entre boquillas convencionales y antideriva.



zona intermedia, a la profundidad de 1 m, pero esta diferencia es irrelevante, pues se observa claramente que es una zona fácil de mojar con el turboatomizador.

No obstante, estos resultados dependen en gran medida de la maquinaria, de cómo ésta ha sido regulada (velocidad de avance del tractor, volumen de aire empleado, presión y tipo de boquillas) y de la estructura de la plantación (tamaño de los árboles, separación entre los mismos y densidad de la vegetación), por lo que los datos que aquí se reflejan sólo son válidos para condiciones similares a las de los experimentos.

Nueva maquinaria para la reducción de la deriva

Además de la promoción del uso de las boquillas de baja deriva, en diversos países europeos se está investigando en el desarrollo de máquinas que generen menos deriva mediante el control del caudal y dirección de la corriente de aire que proporciona el ventilador.

El uso de deflectores de salida del aire es el método más sencillo para dirigir la corriente de aire hacia la copa. No olvidemos que los conductos de salida del aire de los turbos que se utilizan en nuestra citricultura suelen ser semicirculares y, por tanto, liberan una gran cantidad de aire en sentido vertical ascendente, que no llega a las copas de los árboles y, sin embargo, incrementa el riesgo de deriva. Este problema se ha resuelto en otros frutales mediante el uso de deflectores que dificultan la salida ascendente del aire y están imponiéndose en la citricultura ya que la anchura de las calles actuales permite su uso (**foto 1**).

Respecto a la variación del caudal de aire, el prototipo construido en el proyecto europeo Isafruit (2006), el sistema CASA (*Crop-Adapted Spray Application*), dispone de un sistema de diafragma que reduce la aspiración del ventilador y, por tanto, disminuye el caudal, ante la presencia de zonas sensibles que han sido previamente georreferenciadas y son detectadas por el sistema mediante GPS (**foto 2**). También se encuentran en el mercado diversos sistemas de control del caudal de salida de aire mediante el estrechamiento o ensanchamiento del conducto de salida (**fotos 3 y 4**). El problema que pueden presentar estos dispositivos es que la reducción del caudal de aire al estrechar el conducto de salida produce un aumento de la



Foto 1. Deflectores que dificultan la salida vertical del aire.

velocidad de salida del aire y al contrario, cuando se ensancha la salida aumenta el caudal de aire, pero disminuye su velocidad.

También se están desarrollando diversos sistemas electrónicos para reducir la cantidad

de producto fitosanitario que se libera al medio ambiente. Por ejemplo, dispositivos que detectan la vegetación mediante sensores de ultrasonidos y, cuando no hay vegetación actúan sobre electroválvulas que cortan (**foto 5**) o reducen la salida del caldo de pulverización por las boquillas (Moltó *et al.*, 2001). De este modo, al ahorrar volumen de producto, reducen la cantidad total de éste que deriva. Más recientemente, la Universidad Politécnica de Cataluña y la Universidad Politécnica de Lleida han construido prototipos que permiten la adaptación de la presión de trabajo de las boquillas a las características de la vegetación, medidas con ultrasonidos o con LIDAR y la georreferenciación de la máquina (Llorens *et al.*, 2011; Rosell *et al.*, 2009).

Un sistema aún más sofisticado consiste en cambiar el tipo de boquilla durante la aplicación. Así, el prototipo CASA antes mencionado aprovecha la información del GPS para utilizar boquillas de baja deriva cuando distribuye producto en los bordes de la parcela, ante zonas sensibles o en función de la dirección y velocidad del viento.

Por último, pese a que su utilización en citricultura todavía no es posible, cabe destacar el uso tanto en fruticultura en espaldera como en viticultura de sistemas comúnmente denominados de túnel, que son máquinas que trabajan al mismo tiempo por los dos lados de la



Foto 2. Prototipo del proyecto CASA.



Foto 3. Sistema de apertura y cierre del conducto de salida del aire.



Foto 4. Sistema de apertura y cierre del conducto de salida del aire.

Destacan los métodos relacionados con la maquinaria, como la utilización de boquillas de baja deriva, el control del caudal y dirección del aire del ventilador, la apertura y cierre de boquillas o la modificación de sus condiciones de trabajo

vegetación. En uno de ellos disponen de tuberías verticales sobre las que se sitúa un conjunto de boquillas, asistidas por aire o no, y en el otro se coloca un sistema que retiene el producto que ha atravesado la vegetación y posteriormente lo hace recircular (foto 6). La extensión del empleo de patrones enanizantes podría favorecer el desarrollo de estas máquinas.

Recomendaciones

A causa de la deriva, en los tratamientos fitosanitarios se vierten productos potencialmente peligrosos para las personas, la fauna y la flora, pero su cantidad puede ser enormemente reducida con diferentes métodos paliativos.

No debemos olvidar que la velocidad del viento durante la aplicación afecta enormemente a la deriva y que se recomienda no realizar tratamientos con vientos superiores a 5-7 m/s (Márquez, 2008).

Igualmente debe resaltarse la importancia de cerrar o dirigir las boquillas para que toda la nube de caldo se dirija a la vegetación y no directamente al aire o al suelo. De este modo, con un gesto muy sencillo puede reducirse de manera importante la deriva.

Asimismo, en nuestra citricultura es reco-

mendable utilizar presiones de trabajo de alrededor de 10-15 bar para evitar un excesivo número de gotas demasiado finas, así como evitar realizar las aplicaciones cuando la temperatura ambiente es superior a 25°C, ya que las altas temperaturas favorecen la evaporación de las gotas y la reducción de su tamaño.

Las boquillas de inyección de aire han demostrado un gran potencial para reducir la deriva. Producen gotas de mayor tamaño que las convencionales, pero también tienen una mayor tendencia a la escorrentía o a caer al suelo cuando la corriente de aire no las puede soportar

(Guler *et al.*, 2006). En la actualidad existen numerosos estudios a favor y en contra del uso de las boquillas de baja deriva (Frießleben, 2004; Heinkel *et al.*, 2000; McCartney & Obermiller, 2008) y, por ello, cobran importancia los ensayos realizados por el Centro de Agroingeniería del IVIA para evaluar la eficacia antideriva de estos dispositivos en las condiciones de cultivo de la Comunidad Valenciana.

En la actualidad comienzan a aparecer en el mercado máquinas que permiten el control del caudal y de la dirección de la corriente de



Foto 5. Sistema de corte del suministro de caldo basado en un sensor de ultrasonidos.



Foto 6. Ejemplo de sistema túnel para frutales en espaldera.

aire generada por el ventilador o la modificación del tipo, la apertura y el cierre de las boquillas. En cualquier caso, si no se dispone de dispositivos automáticos de control, la mayoría de los turbos tienen una caja de cambios para el ventilador que permite que los álbes

puedan trabajar a dos velocidades distintas. A menudo, sobre todo si la plaga se sitúa en el exterior de la copa, simplemente utilizando la velocidad más reducida del ventilador se puede disminuir considerablemente la deriva del producto fitosanitario.

Independientemente de los métodos de reducción de deriva seleccionados, existe la lógica preocupación sobre la posible influencia del método sobre la eficacia de los tratamientos fitosanitarios. En este sentido, el Centro de Agroingeniería y la Universidad Politécnica de Valencia ya han realizado pruebas preliminares para evaluar la influencia del uso de boquillas antideriva en la eficacia de control de araña roja (*Tetranychus urticae* Koch) en cítricos (Dólera et al., 2012).

Paralelamente, se están llevando a cabo estudios para determinar la eficacia biológica de los tratamientos y producir herramientas que permitan garantizar que los tratamientos se realizan correctamente (Garcerá et al., 2013). ●

Agradecimientos

Agradecemos a Iván Carrillo, Vicente Alegre y Rosana Moreno su trabajo en los ensayos de campo, a Pulverizadores Fede S.L. la cesión de maquinaria y a Fontestad S.A. la cesión de campos experimentales.

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España (proyectos AGL2007-66093-C04 y AGL2010-22304-C04-01) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Bibliografía

Chueca P, Moltó E, Garcerá C (2011) Influence of nozzles on mass balance of spray applications in citrus. Supfruit 2011, International Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing, Bergerac (Francia) Junio 8-10, 2011.

Dólera L, Vercher R, Garcerá C, Soler JM, Val L (2012) Spraying citrus orchards with antidrift nozzles. Poster presented in the International Conference of Agricultural Engineering CIGRAGEng 2012. Valencia (España) Julio 8-12, 2012.

Frießleben R. (2004) Balancing drift management with biological performance and efficacy. 24 Mayo 2012. <http://pep.wsu.edu/Drift04/pdf/proceedings/pg72-79_Frießleben.pdf>.

Garcerá C, Cunha JP, Chueca P, Moltó E (2012) Efecto antideriva de las boquillas de inyección de aire en los tratamientos de cítricos. Levante Agrícola: Revista internacional de cítricos 412: 268-273.

Garcerá C (2013) Racionalización de las aplicaciones de productos fitosanitarios para el control de *Aonidiella aurantii* Maskell (Hemiptera: Diaspididae) en cítricos. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.

Garcerá C, Moltó E, Chueca P (2013) Factors influencing the efficacy of two organophosphate insecticides in controlling California red scale, *Aonidiella aurantii* (Maskell). A basis for reducing spray application volume in Mediterranean conditions. Pest Manag. Sci., publicado online (doi: 10.1002/ps.3515).

Guler H, Zhu H, Ozkan HE, Derksen RC, Yu Y, Krause CR (2006) Spray characteristics and wind tunnel evaluation of drift reduction potential with air induction and conventional flat fan nozzle. Amer. Soc. Agr. Biol. Eng., Annu. Intl. Mtg., Paper No. 06111. (Abstr.)

Heinkel R, Fried A, Lange E (2000) The effect of air injector nozzles on crop penetration and biological performance of fruit sprayers. Aspects Appl. Biol. 57:301-307.

ISAFRUIT (2006) Increasing Fruit Consumption Through a Trans-Disciplinary Approach Delivering High Quality Produce from Environmentally-Friendly, Sustainable Production Methods. Integrated Project within the EU 6th Framework Programme Food Quality and Safety - 5.4.1 Total food chain. Contract No. FP6-FOOD-CT-2006-016279-2. (www.isafruit.org).

ISO (2005) ISO/FDIS 22866, Equipment for crop protection - Methods for field measurement of spray drift. ISO, Geneva.

Llorens J, Gil E, Llop J, Escolà A (2011) Ultrasonic and LIDAR Sensors for Electronic Canopy Characterization in Vineyards: Advances to Improve Pesticide Application Methods. Sensors 11(2): 2177-2194.

Márquez L (2008) Buenas prácticas agrícolas en la aplicación de los fitosanitarios. Centro de Publicaciones del MARM, 126 pp.

McArtney SJ, Obermiller JD (2008) Comparative Performance of Air-induction and Conventional Nozzles on an Axial Fan Sprayer in Medium Density Apple Orchards. HortTechnology 18: 365-371.

Moltó E, Martí B, Gutiérrez A (2001) Pesticide Loss Reduction by Automatic Adaptation of Spraying on Globular Trees. Journal of Agricultural Engineering Research Vol 78: 35-41.

Rosell JR, Llorens J, Sanz R, Amó J, Ribes-Dasi M, Masip J, Escolà A, Camp F, Solanelles F, Gràcia F, Gil E, Val L, Planas S, Palacín J (2009) Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. Agricultural and Forest Meteorology 149: 1505-1515.

UE (2009) Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de octubre de 2009 por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas. Diario Oficial de la Unión Europea L309: 71-86.